快速与慢速读者的中央凹加工对副中央凹预视的影响*

张慢慢　臧传丽　徐宇峰　白学军　闫国利

(教育部人文社会科学重点研究基地天津师范大学心理与行为研究院，天津师范大学心理学部，“学生心理发展与学习”天津市高校社会科学实验室，天津 300387)

摘　要　在中文阅读中，预视量是否存在个体差异及其是否受中央凹加工调节，尚不清楚。本研究采用眼动技术和边界范式，通过操纵前目标词的加工负荷（高、低）与目标词的预视（相同、假字）来考察快速与慢速读者的中央凹加工对副中央凹预视的影响。结果显示，中央凹负荷主效应显著；快速组对低负荷词的首次和单次注视短于高负荷词，而慢速组对两种负荷词的首次和单次注视无差异，表明快速组能更快利用词汇特性加工中央凹词汇。预视主效应显著，即与假字预视相比，相同预视使两组读者都对目标词的注视更短、向前眼跳更长、跳读率更高；而且该效应与中央凹负荷没有交互作用。这表明快速组与慢速组提取了等量预视，且不受其中央凹加工的调节。E-Z 读者模型和 SWIFT 模型不能完全解释当前结果。

关键词　快速读者；慢速读者；副中央凹预视；中央凹加工负荷；中文阅读

分类号　B844.3

1 引言

1.1 副中央凹预视的个体差异

在自然阅读中，读者在一次注视中提取有效信息的视觉区域包括中央凹区和副中央凹区。中央凹区即当前正在注视的区域，视敏度最高，提取的视觉信息最精细。由于视敏度显著下降，从副中央凹词汇提取的信息（即预视）比较有限，包括语音、正字法和亚词汇信息等（可能还有语义信息），这些信息会减少读者对这些词汇的加工时间，产生预视效益（preview benefit; 白学军等, 2011; Rayner, 2009），也会促进眼跳目标选择（李玉刚, 黄忍, 滑慧敏, 李兴珊, 2017; Liu, Reichle, & Li, 2015; 王永胜等, 2018）。从整个阅读过程来看，预视提升了阅读效率（Rayner, 2009; Schotter, Angele, & Rayner, 2012）。在熟练阅读的个体差异研究中，比较受关注的一个问题是，预视是否及如何随个体阅读能力不同而变化？

收稿日期: 2019-11-21

* 国家自然科学基金项目（31800920; 31571122）；天津市人才发展特殊支持计划青年拔尖人才项目；天津师范大学杰出青年创新团队项目（52WZ1702）；教育部“长江学者”奖励计划特聘教授；教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(18JJD190001)。

通信作者：臧传丽, zangchuanli@163.com；张慢慢, zhangmanman289@126.com

以往研究，有的以阅读测验分数来衡量个体阅读能力（如, Ashby, Rayner, & Clifton, 2005; Chace, Rayner, & Well, 2005; Veldre & Andrews, 2015a, 2015b），也有的直接以有效阅读理解下的阅读速度代替阅读测验分数来区分个体阅读能力（如，Frömer et al., 2015; Rayner, Slattery, & Bélanger, 2010; Risse, 2014）。在有效阅读下，阅读速度越快表明阅读效率越高（Ashby et al., 2005; Rayner et al., 2010）。因此，阅读速度被认为是反映阅读能力的一个综合指标（Ashby et al., 2005; Rayner, Schotter, Masson, Potter, & Treiman, 2016）。

从空间维度来看，预视的个体差异首先表现在预视范围上。Rayner 等人（2010）对比了快速与慢速读者的知觉广度。结果发现，慢速读者的预视范围为 1 个词，快速读者的则大于 2 个词。Ashby, Yang, Evans 和 Rayner（2012）进一步发现，当有效预视范围增大时，快速读者获得的预视效益远大于慢速读者。以阅读能力区分个体差异时，也发现类似结果：当预视范围增大时，与阅读能力低的读者相比，阅读能力高的读者提取的预视信息更多，获得的预视效益更大，阅读速度提高幅度更大（Veldre & Andrews, 2014）。这些结果表明，阅读能力高或阅读速度快与更大的预视范围有关。

从时间维度来看，预视的个体差异还体现在预视程度上。Chace 等人（2005）比较了一般熟练读者与阅读能力低的读者的预视类型。结果发现，熟练读者获得的语音预视效益更大，而阅读能力低的读者无法从副中央凹提取语音信息，不能从有效预视中获益。Veldre 和 Andrews（2015a, 2015b）考察了不同阅读能力读者对正字法预视信息加工，结果发现，阅读能力高的读者对副中央凹正字法信息的提取更早、更快且更精确；准确的正字法预视使阅读能力高的读者获得的预视效益或预视量更大，无效预视则严重干扰他们的词汇加工。由此可推测，阅读能力高的读者之所以阅读速度更快，是因为他们对预视信息提取速度更快、利用程度更高。

1.2 中央凹词汇加工对副中央凹预视的影响及其个体差异

在中央凹词汇加工方面，以往通常选择词频来考察词汇加工情况（Clifton et al., 2016; Rayner, 2009），这是因为影响词汇加工难易的首要属性是词频。高频词加工更容易、加工负荷低，而低频词加工更难、加工负荷高。对拼音文字阅读的研究显示，阅读能力较低的读者对低频词的加工时间更长，表现出更大的词频效应（Ashby et al., 2005）；而阅读能力高的读者对低频词的加工时间更短，词频效应更小（Kuperman & Van Dyke, 2011; Taylor & Perfetti, 2016），说明了阅读能力高的读者对中央凹的词汇加工效率更高。

研究者推测，阅读能力低的读者之所以阅读速度慢，是因为他们对中央凹的词汇加工耗费了更多的注意资源、加工效率更低，只有很少的注意资源可以提取副中央凹信息；而阅读

能力高的读者之所以阅读更快，是因为他们对中央凹词汇的加工效率高，使得他们有更多的注意资源来提取更多和更广的预视（Ashby et al., 2012; Chace et al. 2005; Rayner, 1986; Veldre & Andrews, 2015b）。换言之，副中央凹预视的个体差异可能只是个体中央凹词汇加工差异的间接产物（Rayner, 1986; Veldre & Andrews, 2015b），这是基于"中央凹负荷假说"（Foveal Load Hypothesis: 读者提取的预视会随着中央凹加工负荷或加工难度的增大而减少，Henderson & Ferreira, 1990）作出的解释。Veldre 和 Andrews（2015b）检验了这种可能，他们考察了中央凹加工负荷（高频：低负荷，低频：高负荷）对高、低阅读能力读者提取预视类型（词长和预视准确性）的影响。结果显示，在首次注视和单次注视时间上，当中央凹加工负荷低时，高、低阅读能力的读者获得的预视一样，而当中央凹加工负荷高时，阅读能力高的读者提取的预视量更大。相反的是，Risse（2014）的研究发现慢速读者比快速读者获得的预视量更大。Risse 基于词汇平行加工的观点（具体见 1.3 部分）解释为，快速读者的词汇加工已达到自动化水平，对中央凹词的注视时间在最低阈限内，没有额外时间来预视，这种极高水平的词汇加工效率可以弥补他们预视少的不足；慢速读者对中央凹词的注视需要更长时间，有更多的机会提取预视。尽管 Risse 没有直接操纵中央凹负荷，但基于她的解释可预测，慢速读者在中央凹负荷高时需要更长时间加工中央凹词，也就可以提取更多预视。可见，关于预视的个体差异研究还没有一致结论。

1.3 副中央凹预视个体差异的理论解释

关于预视程度的个体差异，当前阅读眼动控制的两大模型——E-Z 读者模型与 SWIFT 模型作出了不同解释。E-Z 读者模型认为，词汇加工是按照序列逐个进行的，注意每次只分布在一个词上。对当前注视词（用词 n 表示）的熟悉性验证（L_1）后，眼球运动系统开始计划下一次眼跳；词汇通达（L_2）后，且在下一次眼跳开始执行前，注意开始转移到下一个词 n+1 上，副中央凹预视开始（Reichle, 2011; Reichle, Pollatsek, Fisher, & Rayner, 1998）。中央凹词汇越简单或加工负荷越低，L_1 和 L_2 就越快完成，注意转移到词 n+1 上越早，词 n+1 被提取的预视越多、被跳读的概率越大。由该模型可推测，阅读能力高或速度快的读者之所以获得更多预视，是因为他们的中央凹加工更快、注意转移到词 n+1 上的时间更早。SWIFT 模型假设，注意按照梯度分布在知觉广度内的词上，知觉广度内的词是平行加工的。读者在注视当前词 n 的同时，也开始加工副中央凹词汇，只是对副中央凹词的加工效率因视敏度下降而降低。由此推测，中央凹加工时间越长，提取的预视量越大（Engbert & Kliegl, 2011; Engbert, Nuthmann, Richter, & Kliegl, 2005）。阅读能力低或慢速读者对中央凹词的注视长，意味着他们可以提取的预视量更大，这与 E-Z 读者模型的预测正好相反。

在预视范围的个体差异研究方面，E-Z 读者模型推测，当从词 n+1 获得足够多的预视且足够快地使词 n+1 达到词汇通达时，注意会转移到词 n+2 上，对词 n+2 的预视开始进行

（Reichle, 2011; Schotter et al., 2012）。与阅读能力低或慢速读者相比，阅读能力高或快速读者对中央凹的词汇加工更快，注意转移到词 n+1 更早，更可能达到词 n+1 的词汇通达阶段，因而，预视到词 n+2 的可能性更大。SWIFT 模型认为中央凹加工难度或负荷调节预视范围：中央凹加工容易或负荷越低，预视范围越广。由此推测，读者阅读能力或阅读速度越高，中央凹加工越容易或负荷越低，预视范围越广。可见，两个模型对预视范围的个体差异的预测较一致。

1.4 中文阅读中的副中央凹预视

以上研究及相关理论关注的是拼音文字阅读。尽管 Henderson 和 Ferriera（1990）证明了随着中央凹加工负荷增大，提取的预视量减小，但后续的研究没有很好的重复该结果（Veldre & Andrews, 2018; White, Rayner, & Liversedge, 2005）。其中一个可能原因是，拼音文字词长变异非常大，不同研究间使用的目标词词长不同，在考察中央凹加工对预视程度的影响时，没有很好地控制预视范围。如前文所述，从时间和空间维度来看，副中央凹的信息加工涉及预视程度和预视范围。在考察预视程度时，理想的方式是可以在限定的空间单元内最大化地操纵预视程度。相比之下，中文的词长变异较小，约 90%的常用词是 1~3 字长（Li, Zang, Liversedge, & Pollatsek, 2015）；更重要的是，每个汉字所占空间相同，但是每个汉字视觉和词汇复杂程度不同，这意味着在一个词单元内呈现的副中央凹信息量更多，可能受中央凹加工影响的敏感性更大（Zhang, Liversedge, Bai, Yan, & Zang, 2019）。

Zhang 等人（2019）以中文阅读为考察对象，把预视范围控制在单个字内，结果发现，在注视时间上，中央凹词汇加工负荷对预视量没有调节作用。而 Liu 等人（2015）发现中央凹负荷对预视的调节作用发生在眼跳长度上，即在正常预视下，中央凹加工负荷越小，下一次向前眼跳越长，与 E-Z 读者模型观点一致。不过，Liu 等人使用了特殊符号（※）作为无效预视，某种程度上可能破坏了正常句子阅读。在正常句子阅读下，Zhang 等人与王永胜等人（2018）的研究证明中央凹加工负荷与预视独立影响向前眼跳长度。另一方面，Yan（2015）考察了中央凹视觉加工负荷（少笔画数：低负荷，多笔画：高负荷）对预视（正确或非词预视）的影响。结果发现，中央凹视觉加工负荷对预视量具有反向调节作用：随着中央凹视觉加工负荷变大，对预视的提取更多，支持 SWIFT 模型的推测，这也意味着中央凹的视觉加工与词汇加工对预视的作用可能不同。总之，中文阅读中关于中央凹加工负荷是否及如何调节预视量还没有一致的结论。

对中文阅读中的儿童读者和汉语留学生读者的研究发现，随着个体阅读能力的提高，他们的预视范围更广，提取的预视类型和预视量更多（Wang, Zhou, Shu, & Yan, 2014；闫国利,

李赛男，王亚丽，刘敏，王丽红, 2018; 闫国利，王丽红，巫金根，白学军, 2011）。中文阅读研究者推测这是因为阅读能力低的读者对中央凹词汇的加工更困难，占用了更多的注意资源，注意转移到副中央凹词更晚或仅有较少的注意来提取副中央凹信息（Wang et al., 2014; 闫国利，熊建萍，白学军, 2008）。但是这种推测还缺少直接的证据支持。

为了探讨中文阅读中预视量的个体差异是否受中央凹加工的调节，或者中央凹负荷对预视量影响的不同研究结果是否由个体差异所致，本研究以成人读者为考察对象，参考以往研究，以阅读速度作为衡量阅读能力高低的指标并筛选出快速与慢速读者（Ashby et al., 2005; Rayner et al., 2016），选用双字词作为前目标词（中央凹词），选用单字词作为目标词（副中央凹词）。双字词被注视的概率很高（Zang, Fu, Bai, Yan, & Liversedge, 2018），而使用单字词可将预视空间限定在最小词汇单元内，从而大大提高了副中央凹词被预视的概率。目标词的预视包括相同预视（目标词本身）和假字预视。假字预视为基线条件，提供"零"预视，而相同预视则提供"全"预视。对比假字预视与相同预视条件下对目标词的注视时间，即为获得的所有预视量（Rayner, 1975, 2009）。研究假设：（1）如果中央凹负荷调节不同阅读速度读者的预视量，那么根据 E-Z 读者模型，中央凹加工负荷正向调节预视量，表现为，当中央凹加工负荷低时，快速与慢速读者的预视量没有差异；当中央凹负荷高时，快速读者提取的预视量大于慢速读者；根据 SWIFT 模型，中央凹加工负荷反向调节预视量，即中央凹负荷低时，快速与慢速读者的预视量没有差异，在中央凹负荷高时，慢速读者提取的预视量显著大于快速读者。（2）如果中央凹负荷不影响快速与慢速读者的预视量，则无论中央凹加工负荷大小，快速与慢速读者提取的预视量相同。

2 方法

2.1 被试

2.1.1 快速与慢速读者筛选程序

以往研究对快速与慢速的筛选方法主要有两种，一种是按照阅读速度的中位数把被试分为快速组和慢速组（如 Rayner et al., 2010）。另一种是从一定数量的被试样本中，将所有被试阅读速度从高到低排序，从数值两端筛选出快速与慢速读者（如, Hawelka, Schuster, Gagl, & Hutzler, 2015），这种方式可以使两组被试的区分度较高。本研究采用第二种，具体筛选同 Hawelka 等人的方法，即根据三分钟阅读速度来筛选快速与慢速被试。具体流程为，从天津师范大学大学随机选取 300 名母语均为汉语的大学生和研究生被试，所有被试的视力或矫正

视力正常。被试的任务是默读一系列简单易懂的句子，并对句子表达意思既快又准地作出“是”或“否”的判断。被试在三分钟内正确判断句子的个数即为该被试的阅读速度。

参考 Hawelka 等人（2015）的阅读速度测试，本研究对快速与慢速筛选使用的测试材料为自编的 150 句常识性句子（见附录）。每个句子所表达的句意，或符合常识（例如“月球绕着地球旋转”），或违背常识（例如“大象的鼻子特别短”）。符合常识与违背常识的句子各半。句子长度为 10 ±3 个汉字。在正式测试前，另选取 20 名被试进行预测验。预测验结果表明，在限定 3 分钟时间内，被试判断句子的数量在 66~132 个之间，对句子判断的平均反应时为 1911 ms（SD = 1010 ms），平均正确率为 95%。

测试程序在 E-prime 2.0 中编制，刺激以 32 号宋体呈现在 15.6 英寸的 Dell 笔记本电脑上。每次只呈现一个句子。每个被试单独施测。被试距离电脑屏幕距离约为 60 cm。测试前向被试呈现指导语，确保被试明确实验任务和要求。指导语为“下面将在屏幕中呈现一系列与常识有关的句子。每次只呈现一句。在句子呈现前，请先注视屏幕中的注视点‘+’。请你既快又准地对句意的正误进行判断。若句意符合常识，请按‘D’键；若句意违背常识，请按‘J’键。下面开始练习。”注视点“+”每次呈现 1000 ms。正式测试前，有 4 个练习句子，以帮助被试熟悉测试程序。练习时，对被试判断的结果提供反馈，被试正确判断句子个数超过 3 个以上才可以进行正式测验，否则重新练习。正式测试时，不提供反馈。

2.1.2 快速与慢速读者筛选结果

根据阅读速度的测试结果，对快速与慢速读者的筛选包括两个步骤。第一步，排除句子判断正确率低于 90%的被试，或者不愿意继续参加随后眼动实验的被试，共排除 70 人。第二步，在余下的 234 名被试中，根据每个被试正确判断句子的数量由高到低排序，从该序列中选取排名最前的 28 人作为快速读者；选取排名最后的 28 人作为慢速读者。快速读者的平均年龄为 22 ±2 岁，女生有 20 人。慢速读者的平均年龄为 22 ±2 岁，女生有 22 人。

快速组与慢速组在阅读速度测试中的结果如表 1 所示。结果显示，在 3 分钟内，快速读者正确判断句子总数显著多于慢速读者，F (1, 27) = 656.15，p < 0.001，η_p^2 = 0.96。快速组平均判断一个句子的时间显著短于慢速组，F (1, 27) = 535.95，p < 0.001，η_p^2 = 0.95。但是，两组被试在正确率上没有差异，F (1, 27) = 1.55，p = 0.22，η_p^2 = 0.05。这些结果表明，快速组的有效阅读速度显著高于慢速组。

表 1 快速组与慢速组在句子判断任务中的基本信息（括号内为标准差）

组别	判断句子总数	正确判断句子数	正确率 (%)	平均反应时 (ms)
快速组	130 (9)	125 (10)	96 (2.6)	1380 (94)
慢速组	73 (6)	70 (6)	96 (2.3)	2500 (244)

2.2 实验材料

本研究使用了与 Zhang 等人（2019）相同的实验材料。选取双字词作为前目标词（中央凹词），操纵双字词的词频（高频和低频）。以往研究主要以词频来操纵中央凹词汇的加工负荷（如， 王永胜 等, 2018; Henderson & Ferriera, 1990; Liu et al., 2015; Veldre & Andrews, 2018; White et al., 2005; Zhang et al., 2019），本研究以同样的方式来操纵中央凹负荷。高频词容易被加工，意味着中央凹加工负荷低；低频词加工难度大，意味着中央凹加工负荷高。共有 32 对高−低频词对。高频词的词频显著地高于低频词的词频，$F(1, 31) = 21.49$, $p < 0.001$。二者的笔画数没有显著差异，$F(1, 31) = 0.15$, $p = 0.70$。每对高频−低频词对搭配一个单字词，并编在同一个句子框架内，共选取 32 个单字词作为目标词（副中央凹词）。所有句子均有较高通顺性，前目标词与目标词均为低预测，如表 2 所示。

表 2 不同中央凹加工负荷下的前目标词与句子的基本信息（括号内为标准差）

中央凹加工负荷	词频 (次/百万)	笔画数	句子通顺性	前目标词预测性 (%)	目标词预测性 (%)
低负荷	242.9 (295.7)	16.8 (1.8)	4.0 (0.3)	1.3 (3.7)	2.3 (4.9)
高负荷	0.4 (0.3)	16.6 (1.9)	3.9 (0.3)	0.6 (2.5)	4.5 (7.7)

实验使用边界范式（boundary paradigm; Rayner, 1975）来操纵目标词的预视。具体过程为，在紧邻目标词前设置一个隐形边界，在眼睛越过隐形边界前，对目标词的预视是相同或假字预视（如图 1），当眼睛越过边界时，预视内容变为目标词。其中，假字与目标词的笔画数相互匹配。共有 32 组句子，每组有四种实验条件，即中央凹低负荷-相同预视、中央凹低负荷-假字预视、中央凹高负荷-相同预视和中央凹高负荷-假字预视。根据拉丁方设计，把每组中不同条件的句子分配到 4 个组块中。除了实验句以外，每个组块还包括 6 个练习句和 24 个填充句。每个被试只阅读其中一个组块的句子。另外，实验中有 46%的句子后设有阅读理解判断题。

中央凹负荷-预视条件	句子
低负荷-相同	森林勇士成功*挑战*¦**熊**的事迹很快在部落中传开了。
低负荷-假字	森林勇士成功*挑战*¦**[illegible]**的事迹很快在部落中传开了。
高负荷-相同	森林勇士成功*诱捕*¦**熊**的事迹很快在部落中传开了。
高负荷-假字	森林勇士成功*诱捕*¦**[illegible]**的事迹很快在部落中传开了。
	(边界前注视点)*
低负荷-相同	森林勇士成功*挑战*¦**熊**的事迹很快在部落中传开了。
低负荷-假字	森林勇士成功*挑战*¦**熊**的事迹很快在部落中传开了。
高负荷-相同	森林勇士成功*诱捕*¦**熊**的事迹很快在部落中传开了。
高负荷-假字	森林勇士成功*诱捕*¦**熊**的事迹很快在部落中传开了。
	*** (边界后注视点)**

图 1 眼睛越过边界前后四种实验条件下的句子示例

（注："*挑战/诱捕*"为前目标词，"**熊**"为目标词，虚线示意隐形边界所在位置，*代表边界前后的两个连续注视点）

2.3 实验设计

实验为 2（阅读组别：快速组、慢速组）×2（中央凹加工负荷：高、低）×2（副中央凹预视：相同、假字）的混合实验设计。其中，阅读组别为被试间变量，中央凹加工负荷和副中央凹预视为被试内变量。

2.3 实验仪器

实验使用了加拿大 SR Research 公司生产的 EyeLink 1000 眼动仪，采样率为 1000 H_Z，刺激呈现屏的刷新率为 150 H_Z。实验材料以宋体形式在白色背景下呈现。每个汉字约占 1.1°视角。

2.4 实验程序

在眼动实验中，每个被试单独实测。实验前，主试引导被试坐在被试机前，告知被试将下巴放在下巴托上，在实验中尽可能避免头动。随后，在被试机屏幕上呈现指导语："下面将在屏幕中逐个呈现一些汉语句子。每次呈现一句，请你认真阅读并理解每句话的意思。在这些句子中，有的句子后会有判断题。请你根据原句意思进行'是'或'否'的判断。手柄中的左键为'是'，右键为'否'。"主试确保每个被试理解实验任务和要求后，对被试的眼睛进行三点校准。校准成功后，被试开始练习。在熟悉实验流程后，被试进入正式实验。正式实验中的句子随机呈现。被试的按键反应和眼动轨迹由眼动仪自动记录。在实验中，主试观察被试的注视情况，在必要时会对被试眼睛进行再校准，以保证眼动仪记录数据的精准性。整个实验约持续 20 分钟。

3 结果

快速组与慢速组的阅读理解正确率均为 92%，表明两组被试均能很好地理解句子，且没有显著差异，$F(1, 54) = 0.27$, $p = 0.61$, $\eta_p^2 = 0.005$。在筛选原始眼动数据时，首先去除注视时间小于 80 ms 或大于 1200 ms 的注视点。然后对项目进行筛选：（1）删除由于被试按键失误或头动导致的追踪丢失的句子（约占总数据的 0.06%）。（2）针对句子整体分析，删除各指标三个标准差以外的句子（1.20%）；（3）针对前目标词分析，删除三个标准差之外的句子（1.23%）；（4）针对目标词分析，删除眼睛第一次通过边界或注视目标词时眨眼，以及文本呈现变化发生过早或延迟的句子（14.79%），再删除三个标准差之外的句子（0.38%）。

首先以句子为单元进行整体分析，检验快速组与慢速组在整体句子阅读上的差异。具体分析指标包括时间维度上的句子总阅读时间、平均注视时间和阅读速度，以及空间维度上的总注视次数、向前眼跳次数、向前眼跳长度和回视眼跳次数（闫国利等, 2013）。总阅读时间反映了句子的总体加工情况，随句子难度增大而变长。总注视次数与总阅读时间密切关联，一般来说，总注视次数多时，总阅读时间也越长。平均注视时间是从整体上反映句子加工中每次注视的情况，随句子难度增大而增长。阅读速度综合考虑了句子总阅读时间与句子长度，是相对稳定且能有效反映总体阅读情况的一个指标。向前眼跳长度主要反映了在眼跳发生前，对句子下文内容的加工情况，如果句子容易或提取的下文信息较多，那么向前眼跳会更长。向前眼跳次数与向前眼跳长度相对立，一般来说，向前眼跳次数越多，对应的向前眼跳长度越短。回视眼跳次数反映了后期句子语义整合情况，回视次数越多说明句子语义整合越困难。

之后，把前目标词与目标词分别作为兴趣区进行局部分析（如图 2）。局部分析指标选用了第一遍阅读过程中的常用指标（闫国利等, 2013）。具体包括：（1）首次注视时间，指在第一遍阅读中，第一次落在目标词上的注视时间，有效反映了最早期的词汇加工特征；（2）单次注视时间，指在第一遍阅读中，在目标词上有且仅有一次时的注视时间，反映了早期在一次注视中进行词汇识别的过程；（3）凝视时间，指在第一遍阅读中，落在目标词上的所有注视时间之和，综合反映了在一次或多次注视情况下的词汇识别过程；（4）跳读率，指在第一遍阅读中，目标词被跳读的概率，反映了目标词提前被加工的情况，容易加工的词更容易被跳读；（5）向前眼跳长度，这里指眼睛从前目标词上起跳的位置到落在边界后某位置之间的距离，能反映当前加工的难易程度，加工内容越容易，向前眼跳越长。其中，前三个指标从时间维度揭示早期词汇识别过程，当目标词上有且仅有一次注视时，三个指标数值相同。跳读率和向前眼跳长度是空间维度指标，揭示下一次眼跳目标选择情况。



图 2 局部分析时对前目标词与目标词的兴趣区划分

数据分析是在 R 语言环境下（R Development Core Team, 2018）使用 lme4 数据处理包（Bates, Maechler, Bolker, & Walker, 2015）建立线性混合模型(Linear Mixed Model)进行的。使用马尔可夫链蒙特卡罗（Markov-Chain Monte Carlo）的算法得出事后分布的模型参数来作为显著性的估计值（*b*），可以同时反映被试和项目中的变异（Baayen, Davidson & Bates, 2008）。在运行线性混合模型前，对注视时间、注视次数、眼跳长度和阅读速度指标进行了对数转换。对跳读率的分析使用了广义线性混合模型（Generalized Linear Mixed Model）。在模型中，中央凹加工负荷和预视为固定因素。被试和项目被指定为交叉随机效应，同时考虑被试和项目的随机截距和随机斜率（Barr, Levy, Scheepers, & Tily, 2013）。

3.1 整体分析

整体分析的描述结果见表 3，统计检验结果见表 4。结果显示，阅读组别效应在各个指标上，都非常显著（$|t|$s > 3.20, $ps < 0.01$）：与快速组相比，慢速组对句子的总阅读时间更长、注视次数更多，平均注视时间更长，向前眼跳更多且距离更短，向后回视的次数更多。这些表明了慢速组的阅读速度显著低于快速组，说明本研究对快速与慢速读者的筛选非常有效。

表 3 快速组与慢速组对句子的整体注视情况（括号内为标准差）

眼动指标	快速组	慢速组
句子总阅读时间 (ms)	3013 (881)	4911 (1977)
平均注视时间 (ms)	221 (23)	239 (20)
总注视次数	13.5 (3.6)	20.6 (8.3)
向前眼跳次数	9.3 (2.4)	13.6 (5.1)
回视眼跳次数	3.4 (1.1)	5.5 (3.1)
向前眼跳长度 (字)	2.5 (0.6)	2.0 (0.6)
阅读速度 (字/分)	458 (139)	299 (114)

表 4 快速组与慢速组在句子指标上的固定效应估计值

眼动指标	阅读组别效应(慢速 vs. 快速)				
	b	*SE*	*t*	*p*	95%CI
句子总阅读时间	0.45	0.09	4.96	<0.001	[0.27, 0.63]
平均注视时间	0.08	0.03	3.21	<0.01	[0.03, 0.13]
总注视次数	0.37	0.09	4.28	<0.001	[0.20, 0.54]
向前眼跳次数	0.34	0.09	3.91	<0.001	[0.17, 0.52]
向前眼跳长度	−0.23	0.07	−3.48	<0.01	[−0.36, −0.10]
回视眼跳次数	0.39	0.12	3.30	<0.01	[0.16, 0.62]
阅读速度	−0.46	0.09	−4.98	<0.001	[−0.64, −0.28]

注：CI = Confidence Interval (置信区间)。

3.2 局部分析

3.2.1 前目标词分析

在前目标词上，快速组与慢速组的注视情况如表 5 所示。被试对前目标词的注视概率达到 84%，说明本研究选择双字词作为中央凹词非常有效地使被试对目标词的预视发生在前目标词上。阅读组别主效应在首次注视时间（$b = 0.11$, $SE = 0.04$, $t = 2.67$, $p = 0.01$, 95%CI = [0.03, 0.20]）、单次注视时间（$b = 0.13$, $SE = 0.04$, $t = 2.85$, $p = 0.006$, 95%CI = [0.04, 0.21]）、凝视时间（$b = 0.30$, $SE = 0.05$, $t = 5.73$, $p<0.001$, 95%CI = [0.20, 0.40]）和向前眼跳长度（$b= -0.26$, $SE=0.07$, $t= -3.58$, $p<0.001$, 95%CI =[−0.40, −0.12]）指标上非常显著：与快速组相比，慢速组对前目标词的首次注视、单次注视和凝视时间更长，从前目标词起跳的向前眼跳更短。

词频主效应也非常显著（首次注视时间: $b = 0.05$, $SE = 0.01$, $t = 3.68$, $p < 0.001$, 95%CI = [0.03, 0.08]; 单次注视时间: $b = 0.05$, $SE = 0.02$, $t = 2.93$, $p = 0.004$, 95%CI = [0.02, 0.08]; 凝视时间: $b = 0.12$, $SE = 0.02$, $t = 4.90$, $p < 0.001$, 95%CI = [0.07, 0.16]; 向前眼跳长度: $b = -0.10$, $SE = 0.02$, $t = -4.16$, $p <0.001$, 95%CI = [−0.15, −0.05]）：两组被试对低频词的首次注视、单次注视和凝视时间均长于高频词，从低频词跳出的向前眼跳短于高频词。这与以往研究中获得的词频效应非常一致（Clifton et al., 2016; Rayner, 2009），表明了本研究对中央凹加工负荷的操纵非常有效。

副中央凹预视的主效应在第一遍阅读时间指标上均不显著，即无论是相同预视还是假字预视，都不影响对前目标词的注视（$|t|$s < 1.15, $ps > 0.05$），没有发现预视类型的副中央凹-中央凹效应。预视类型显著影响向前眼跳长度（$b = -0.14$, $SE = 0.02$, $t = -5.95$, $p < 0.001$,

95%CI = [−0.18, −0.09]），即假字预视条件下的向前眼跳显著短于相同预视条件。预视在向前眼跳长度上的效应反映了下一次眼跳目标选择的情况。

阅读组别与词频的交互作用在首次注视时间（$b = -0.06$, $SE = 0.03$, $t = -2.14$, $p = 0.03$, 95%CI = [−0.12, −0.01]）和单次注视时间上显著（$b = -0.12$, $SE = 0.03$, $t = -3.46$, $p < 0.001$, 95%CI = [−0.18, −0.05]），在凝视时间和向前眼跳长度上不显著（$|t|$s < 1.81, $ps > 0.05$）。简单效应分析表明，快速组有显著的词频效应（首次注视时间: $b = -0.09$, $SE = 0.02$, $t = -4.16$, $p < 0.001$; 单次注视时间: $b = -0.11$, $SE = 0.02$, $t = -4.77$, $p < 0.001$），快速组对高频词的首次注视和单次注视分别比低频词短 24 ms 和 29 ms；而慢速组对高频词和低频词的首次注视时间（词频效应值为−9 ms, $b = -0.02$, $SE = 0.02$, $t = -1.18$, $p = 0.24$）和单次注视时间（词频效应值为−4 ms, $b = 0.01$, $SE = 0.02$, $t = 0.31$, $p = 0.76$）无显著差异，即无论高频词还是低频词，慢速组都需要更长的时间来加工。图 3 呈现了两组被试对高频词和低频词的单次注视时间。

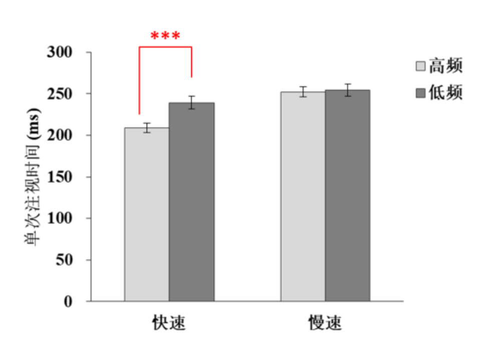


图 3 快速组与慢速组对高频和低频前目标词的单次注视时间（注：***表示 $p<0.001$）

阅读组别与预视的交互作用以及词频与预视的交互作用在第一遍阅读时间和向前眼跳长度上都不显著（$|b|$s < 0.04, $|t|$s < 0.80, $ps > 0.05$）。阅读组别、词频和预视的三阶交互作用在首次注视时间（$b = -0.15$, $SE = 0.07$, $t = -2.29$, $p = 0.02$, 95%CI = [−0.28, −0.02]）和单次注视时间（$b = -0.22$, $SE = 0.07$, $t = -3.02$, $p = 0.003$, 95%CI = [−0.37, −0.08]）上显著，在凝视时间上边缘显著（$b = -0.15$, $SE = 0.09$, $t = -1.74$, $p = 0.08$, 95%CI =[−0.32, 0.02]）。对首次注视和单次注视时间的简单效应分析表明，在相同预视下快速组与慢速组有类似的词频效应（$|t|$s < 0.37, $ps > 0.05$），但是在假字预视条件下，快速组与慢速组的词频效应有差异（$|t|$s > 3.52, $ps < 0.001$）。简单简单效应分析显示，快速组的词频效应非常显著（$|t|$s >4.53, $ps < 0.001$），而慢速组的词频效应不显著（$|t|$s < 1.52, $ps > 0.05$）。这表明，与快速组相比，慢速组对中央凹高频词的加工更易受假字预视的干扰。假字预视与目标词之间的区别在于字形正字法的差异，

因此，该结果实际是正字法副中央凹-中央凹效应，以往一些研究也发现了该效应（Drieghe, 2011）。

表 5 不同条件下快速组与慢速组对前目标词的注视时间和向前眼跳长度（括号内为标准差）

眼动指标	组别	低负荷-相同	低负荷-假字	高负荷-相同	高负荷-假字
首次注视时间 (ms)	快速	219 (47)	207 (33)	229 (42)	245 (68)
	慢速	245 (36)	250 (39)	258 (44)	253 (41)
单次注视时间 (ms)	快速	216 (47)	202 (36)	231 (46)	248 (70)
	慢速	248 (43)	257 (44)	263 (55)	246 (54)
凝视时间 (ms)	快速	237 (52)	243 (62)	258 (68)	283 (90)
	慢速	317 (78)	329 (66)	387 (108)	379 (102)
向前眼跳长度 (字)	快速	2.62 (0.97)	2.29 (0.72)	2.40 (0.82)	2.14 (0.75)
	慢速	1.99 (0.54)	1.73 (0.56)	1.82 (0.82)	1.57 (0.60)

3.2.2 目标词分析

快速组与慢速组在目标词上各眼动指标的平均数和标准差如表 6 所示。在目标词的首次注视时间（b=0.09 , SE= 0.04, t= 2.11, p= 0.04, 95%CI = [0.01, 0.17]）、单次注视（b= 0.10, SE= 0.04, t= 2.35, p= 0.02, 95%CI =[0.02, 0.18]）和凝视时间（b= 0.11, SE= 0.04, t= 2.67, p= 0.01, 95%CI = [0.03, 0.20]）和跳读率（b = −0.78, SE= 0.24, z = −3.24, p = 0.001）上均有非常显著的阅读组别主效应：与快速组相比，慢速组对目标词的首次注视、单次注视和凝视时间更长，对目标词的跳读更少。

副中央凹预视的主效应非常显著（首次注视时间：b= 0.12, SE=0.03, t=4.47, p<0.001, 95%CI =[0.07, 0.17]; 单次注视时间: b= 0.16, SE= 0.03, t= 5.60, p<0.001, 95%CI =[0.10, 0.21]; 凝视时间: b=0.18 , SE=0.03 , t= 6.81, p<0.001, 95%CI = [0.13, 0.23]; 跳读率: b = −0.61, SE = 0.12, z = −5.29, p < 0.001, 95%CI = [−0.84, −0.39]），具体表现为，与假字预视相比，当目标词的预视正确时，两组被试对目标词的首次注视、单次注视和凝视时间更短，跳读更多。

中央凹负荷对目标词的影响（即词频溢出效应）显著表现在单次注视时间上，且是反向的词频溢出效应（b = −0.05, SE = 0.03; t = −2.03, p = 0.046, 95%CI = [−0.10, −0.00]）：高频条件下两组被试对目标词的单次注视时间比低频条件下的多 10 ms。在首次注视和凝视时间上

则没有发现溢出效应（$|b|s < 0.04$, $|t|s < 1.45$, $ps > 0.05$）。中央凹负荷也显著影响目标词的跳读率（$b = -0.34$, $SE = 0.13$, $z = -2.59$, $p = 0.01$, 95%CI = [−0.59, −0.08]），即低负荷条件下两组被试对目标词的跳读率高于高负荷条件，这与前目标词上的向前眼跳长度的结果保持一致。

更重要的是，在注视时间和跳读率指标上，没有出现阅读组别、中央凹负荷与预视的三阶交互作用（注视时间: $|b|s < 0.10$, $|t|s < 0.99$, $ps > 0.05$; 跳读率: $b = -0.69$, $SE = 0.46$, $z = -1.51$, $p = 0.13$, 95%CI = [−1.60, 0.21]），或其他二阶交互作用（注视时间: $|b|s < 0.08$, $|t|s < 1.32$, $ps > 0.05$; 跳读率: $|b|s < 0.33$, $|z|s < 1.26$, $ps > 0.05$）。

表 6 不同条件下快速组与慢速组对目标词的注视时间和跳读率（括号内为标准差）

眼动指标	组别	低负荷-一致	低负荷-假字	高负荷-一致	高负荷-假字
跳读率	快速	0.60 (0.27)	0.44 (0.22)	0.52 (0.23)	0.45 (0.25)
	慢速	0.44 (0.24)	0.32 (0.25)	0.38 (0.22)	0.23 (0.28)
首次注视时间(ms)	快速	245 (72)	272 (53)	234 (57)	269 (78)
	慢速	250 (51)	312 (65)	260 (53)	292 (78)
单次注视时间(ms)	快速	249 (73)	286 (74)	231 (56)	272 (78)
	慢速	262 (51)	315 (75)	252 (58)	316 (76)
凝视时间 (ms)	快速	252 (73)	296 (70)	235 (61)	288 (72)
	慢速	267 (53)	326 (70)	273 (80)	336 (84)

3.2.3 贝叶斯分析

针对目标词上阅读组别、中央凹负荷与预视的无交互效应，使用 BayesFactor 数据处理包，分别对向前眼跳长度、首次注视时间、单次注视时间、凝视时间和跳读率进行线性混合模型的贝叶斯分析（Morey et al., 2018）。首先计算全模型（即包含阅读组别主效应、中央凹负荷主效应、副中央凹预视主效应和三因素的交互作用）的贝叶斯因子（BF_{Full}），以及主效应模型的贝叶斯因子（BF_{Main}）。通过比较两个模型的贝叶斯因子（$BF = BF_{\mathrm{Full}}/BF_{\mathrm{Main}}$），可以评价阅读组别、中央凹负荷与预视是否存在交互作用。如果 *BF* 值小于 1，表示支持虚无假设，即三因素不存在交互作用；如果 *BF* 值大于 1，则支持备择假设，即三因素交互作用显著存在。在贝叶斯分析中，选用默认的先验概率值 0.5，蒙特卡罗迭代次数（Monte Carlo iterations）为 100000。对上述指标的贝叶斯分析结果显示 *BF* 均小于 1（向前眼跳长度：$BF = 0.12$；首次注视时间：$BF = 0.36$；单次注视时间：$BF = 0.18$；凝视时间：$BF = 0.17$；跳读

率：*BF* = 0.28），支持了虚无假设。进一步使用不同的先验概率值（即 0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 和 0.8）进行的敏感性分析结果也支持虚无假设（*BF*s < 0.75）。

4 讨论

本研究主要探讨了快速与慢速读者的副中央凹预视的差异及其如何受中央凹加工负荷的调节。研究结果显示，在阅读理解正确率相同时，快速与慢速读者在阅读过程中的整体差异表现在，快速读者比慢速读者的总句子阅读时间更短，平均每次注视更短，注视次数更少，向前眼跳更长，阅读速度更快，与以往研究（Rayner et al., 2010; Risse, 2014）保持一致。一方面，这说明快速读者比慢速读者的阅读效率更高，另一方面，这显示了本研究对快速读者与慢速读者的筛选方法非常有效。下面分别探讨快速读者与慢速读者的中央凹加工与副中央凹加工。

4.1 快速与慢速读者的中央凹词汇加工

对前目标词的第一遍阅读时间的分析显示，阅读组别主效应非常显著，快速读者对中央凹词的加工时间明显少于慢速读者，这与以往研究保持一致（Ashby et al., 2005; Kuperman & Van Dyke, 2011; Taylor & Perfetti, 2016），说明快速读者整体的词汇加工速度更快。更重要的是，在首次注视和单次注视时间上，快速读者表现出非常显著的词频效应，他们对高频词的注视显著地短于低频词；而慢速读者则没有表现出词频效应，他们对高频词与低频词加工一样，都需要较长的注视时间。也就是说，快速读者对高频词的加工效率比慢速读者高。在凝视时间上，慢速读者与快速读者一样有非常显著的词频效应。这些结果表明，与拼音文字阅读研究结果相似，中文阅读中的快速与慢速读者的词汇加工不仅表现在“度”上，还体现在“质”上（Ashby et al., 2005）。但是两类文字阅读中的词汇加工个体差异模式不同。在中文阅读词汇加工的非常早期阶段，快速读者一旦开始注视，词频信息就被激活，并开始作用于他们的词汇加工过程；而慢速读者对词频信息的利用相对较晚。在拼音文字阅读中，与阅读能力低的读者相比，阅读能力高的读者对低频词的加工效率更高（Ashby et al., 2005; Taylor & Perfetti, 2016）。

造成本研究词频效应的个体差异模式不同于以往研究的一个原因可能是不同研究间筛选被试的标准有差异。Ashby 等人（2005）从 44 名被试中划分了一般熟练和高熟练被试两组，Taylor 和 Perfetti 则把 35 名被试的阅读分数作为连续变量考察不同阅读能力读者的词汇加工情况。相比而言，本研究从较大的样本范围（有效被试 234 名）中筛选了快速与慢速两组被试，被试的区分度相对较高，可能使本研究选取的慢速读者的阅读水平比以往研究的更

低，从而表现出对高频词的早期加工更困难，与低频词的注视时间一样长。另一个原因可能是，与快速读者相比，慢速读者在加工词汇时对语境的依赖更大（Ashby et al., 2005）。本研究选取的前目标词在句子语境中均为低预测，这意味着两组被试无法利用语境信息进行词汇加工。这可能会导致，在词汇加工早期，对慢速读者来说，无论中央凹词频是高或是低，词汇加工都非常困难；而对快速读者来说，只是当中央凹词为低频时，才出现加工困难。此外，中文独特的书写方式（例如，汉字间排列紧密，缺少明确的词边界信息，单位空间内信息分布密集）也可能决定了不同阅读速度的中文读者对词汇加工的模式或策略不同于拼音文字读者（Liversedge et al., 2016; Zang et al., 2016）。日后需要更多的研究来验证上述的可能原因。

4.2 快速与慢速读者的副中央凹预视

在第一遍阅读中，前目标词被注视的概率达到 84%，这说明本研究对前目标词的选取是有效的，在较大程度上保证了副中央凹词的预视发生在中央凹词上。对目标词的分析显示，快速与慢速读者都能从有效的副中央凹预视中提取信息，而且提取的信息量没有显著差异。尽管慢速读者对中央凹词的加工更慢，特别是对高频词的早期加工更慢，但是这没有影响他们提取与快速读者相同的预视量。事实上，本研究也没有发现中央凹负荷对预视的调节作用，与一些拼音阅读研究结果类似（Drieghe, Rayner, & Pollatsek, 2005; Marx, Hawelka, Schuster, & Hutzler, 2017; Vasilev, Slattery, Kirkby, & Angele, 2018; Veldre & Andrews, 2018; Zhang et al., 2019）。

与以往大多数研究类似，本研究也使用词频来衡量中央凹词汇加工负荷。在中文阅读研究中，不同研究间选取的高频和低频范围不同，例如，Liu 等人（2015）选用的高频为 120.5 次/百万，低频为 2.17 次/百万；王永胜等人（2018）选用的高频为 405.08 次/百万，低频为 7.64 次/百万；本研究的高频为 242.9 次/百万，低频为 0.4 次/百万。尽管如此，本研究与 Liu 等人和王永胜等人一样，在注视时间上没有发现中央凹负荷与预视的交互作用。这说明不同范围的中央凹加工负荷调节中央凹负荷效应的可能性不大。

如前所述，词长可能会影响中央凹负荷对预视的作用。Veldre 和 Andrews（2015b）的研究证明，与阅读能力低的读者相比，阅读能力高的读者可以充分利用副中央凹词长信息来提取更多的预视，说明阅读能力高的读者对副中央凹词的视觉空间信息加工更占优势。而且，知觉广度的研究结果显示，阅读能力高的读者可以提取的预视范围更广、预视量更大（Rayner et al., 2010; Veldre & Andrews, 2014）。结合以上两个证据可推测，快速与慢速读者的预视差异可能只发生在预视空间维度上，并可能会受中央凹加工的调节。基于该观点本研究结果可

以解释为：由于预视信息限定在单字词内时，预视词紧邻中央凹词，无论阅读速度如何或者中央凹加工负荷如何，都能从预视词上获得可观的预视量。

此外，由于本研究关注一个预视单元内的预视量的个体差异，因此，预视类型仅包含相同和假字两种。根据 Chace 等人（2005）的研究，阅读能力高的读者可以提取的语音预视更大，这提示我们，不同阅读速度读者的预视差异或者中央凹加工负荷的调节效应可能表现在某个具体预视类型上（如正字法、语音或语义预视）。这需要未来的研究进一步探讨。

4.3 副中央凹预视的个体差异对阅读眼动控制理论的启示

根据 E-Z 读者模型，随着中央凹加工负荷变小，从副中央凹提取的预视量更大，副中央凹词被跳读的概率也越大（Reichle, 2011; Reichle & Drieghe, 2013）。据此推测，由于快速读者的中央凹加工速度更快，那么快速读者提取的预视量更大，因而跳读的目标词更多。虽然本研究发现快速读者对中央凹词的加工快于慢速读者，但是两组读者的预视量并没有受到影响，也没有差异。而且，中央凹加工负荷或阅读速度对向前眼跳长度和跳读率的影响没有通过调节预视量来实现（类似结果也见，王永胜 等, 2018; Liu et al., 2015）。这些结果表明中央凹加工负荷对预视和眼跳目标选择的作用机制可能并不完全如 E-Z 读者模型预期的那样（Drieghe et al., 2005），对拼音文字阅读的研究也有类似证据（如, Drieghe et al., 2005; Vasilev et al., 2018; Veldre & Andrews, 2018）。这提示 E-Z 读者模型在解释中央凹负荷对预视以及预视的个体差异的作用机制时，关于预视和眼跳计划发生阶段的假设还有待于改进或完善。

与 E-Z 读者模型最大的区别在于，SWIFT 模型认为知觉广度内的词汇加工是平行的，因此，读者对中央凹加工的时间越长，同时可以从副中央凹词上提取的预视量也越大，越容易跳读副中央凹词。据此推测，在个体差异上，由于慢速读者对中央凹的注视更长，因而会获得更多的预视。本研究发现，尽管慢速读者对中央凹词的注视时间更长，但他们并没有获得更大的预视量；而且高负荷词被注视得更长，也没有促使读者获得更大的预视量。这些结果显然不支持 SWIFT 模型对预视量个体差异的预测。

SWIFT 模型与 E-Z 读者模型一个最大的争议内容是副中央凹-中央凹效应。SWIFT 模型认为中央凹与副中央凹的词汇加工同时进行，因而副中央凹信息（特别是词汇水平）会影响中央凹词的信息加工，产生副中央凹-中央凹效应（Engbert & Kliegl, 2011）。而 E-Z 读者模型认为当中央凹词汇加工完成后，注意才转移到副中央凹词上，因而，副中央凹词汇加工不会影响中央凹的词汇加工（Reichle, 2011）。值得注意的是，两个模型对词汇加工是序列的还是平行的争论指词汇水平。而在视觉信息加工水平，E-Z 读者模型也假设在早期前注意阶段（pre-attentive processes），多个词的视觉信息（如词长、正字法字形信息）可以被同时提取

（Angele, Slattery, & Rayner, 2016; Drieghe, 2011）。本研究发现，在前目标词上存在阅读组别、中央凹负荷与预视类型的交互作用：在相同预视下，两组被试对中央凹词的加工没有差异；在假字预视下，快速组的中央凹词汇加工不受影响，但是慢速组对中央凹词的加工受到干扰，产生了视觉正字法的副中央凹-中央凹效应。该效应在以往一些研究中也出现过（Brothers, Hoversten, & Traxler, 2017; Drieghe, 2011; Schotter et al., 2012）。两种模型都可以接受并解释这种效应：在非常早期的视觉信息提取过程，快速与慢速读者平行加工了来自中央凹和副中央凹的视觉信息。而且，与快速读者相比，当副中央凹呈现了无效预视时，慢速读者更易受到这类视觉信息的干扰，进而影响了他们的中央凹词汇加工，这支持了阅读能力较低的读者对文本视觉信息的依赖程度更大的观点（如, Rayner, Yang, Schuett, & Slattery, 2013; Zang et al., 2016）。

5 结论

在本研究条件下得出如下结论：（1）在词汇加工早期，与慢速读者相比，快速读者可以更快利用词汇特征加工中央凹词汇，更快完成词汇识别；（2）在单字预视范围内，快速与慢速读者可以提取等量的预视，且不受中央凹加工的调节。该结果初步揭示了中文成人读者的阅读速度与中央凹词汇和副中央凹预视之间的关系，为检验“中央凹负荷假说”进一步提供了个体差异方面的证据，也为当前阅读眼动控制模型在解释中央凹负荷对预视的作用及其个体差异方面提供中文阅读的证据，对日后修订模型及拓展模型范围可以提供一些启示。

参考文献

Angele, B., Slattery, T. J., & Rayner, K. (2016). Two stages of parafoveal processing during reading: Evidence from a display change detection task. *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*, 1241–1249.

Ashby, J., Rayner, K., & Clifton, C. (2005). Eye movements of highly skilled and average readers: Differential effects of frequency and predictability. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *58*(6), 1065–1086.

Ashby, J., Yang, J. M., Evans, K. H., & Rayner, K. (2012). Eye movements and the perceptual span in silent and oral reading. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *74*(4), 634–640.

Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, *59*(4), 390–412.

Bai, X. J., Liu, J., Zang, C. L., Zhang, M. M., Guo, X. F., & Yan, G. L. (2011). The advance of parafoveal preview effects in Chinese reading. *Advances in Psychological Science*, *19*(12), 1721–1729.

[白学军, 刘娟, 臧传丽, 张慢慢, 郭晓峰, 闫国利. (2011). *心理科学进展*, *19*, 1721–1729.]

Barr, D. J., Levy, R., Scheepers, C., & Tily, H. J. (2013). Random effects structure for confirmatory hypothesis testing: Keep it maximal. *Journal of Memory and Language*, *68*, 255–278.

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*, 1–48.

Brothers, T., Hoversten, L. J., & Traxler, M. J. (2017). Looking back on reading ahead: No evidence for lexical parafoveal-on-foveal effects. *Journal of Memory and Language*, *96*, 9–22.

Chace, K. H., Rayner, K., & Well, A. D. (2005). Eye movements and phonological parafoveal preview: Effects of reading skill. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *59*(3), 209–217.

Clifton, C., Ferreira, F., Henderson, J. M., Inhoff, A. W., Liversedge, S. P., Reichle, E. D., & Schotter, E. R. (2016). Eye movements in reading and information processing: Keith Rayner’s 40 year legacy. *Journal of Memory and Language*, *86*, 1–19.

Drieghe, D. (2011). Parafoveal-on-foveal effects in eye movements during reading. In S. P. Liversedge, I. D. Gilchrist, & S. Everling(Eds.), Oxford library of psychology. *The Oxford handbook on eye movements* (pp. 839–855). New York, NY, US: Oxford University Press.

Drieghe, D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2005). Eye movements and word skipping during reading revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *31*, 954–969.

Engbert, R., & Kliegl, R. (2011). Parallel graded attention models of reading. In S. P. Liversedge, I. D. Gilchrist, & S. Everling (Eds.), Oxford library of psychology. *The Oxford handbook of eye movements* (pp.787–800). New York, NY, US: Oxford University Press.

Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005). SWIFT: A dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review*, *112*, 777–813.

Frömer, R., Dimigen, O., Niefind, F., Krause, N., Kliegl, R., & Sommer, W. (2015). Are individual differences in reading speed related to extrafoveal visual acuity and crowding?. *PloS one*, *10*(3), e0121986.

Hawelka, S., Schuster, S., Gagl, B., & Hutzler, F. (2015). On forward inferences of fast and slow readers: An eye movement study. *Scientific Reports*, *5*, 8432.

Henderson, J. M., & Ferreira, F. (1990). Effects of foveal processing difficulty on the perceptual span in reading: Implications for attention and eye movement control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *16*, 417–429.

Kuperman, V., & Van Dyke, J. A. (2011). Effects of individual differences in verbal skills on eye-movement patterns during sentence reading. *Journal of Memory and Language*, *65*(1), 42–73.

Li, X. S., Zang, C. L., Liversedge, S.P., & Pollatsek, A. (2015). The role of words in Chinese reading. In Pollatsek, A., & Treiman, R. (Eds), Oxford library of psychology. *The Oxford handbook of reading* (pp. 232–244). New York, NY, US: Oxford University Press.

Li, Y. G., Huang, R., Hua, H. M., & Li, X. S. (2017). How do readers select the saccade targets?. *Advances in Psychological Science*, *25*(3), 404–412.

[李玉刚, 黄忍, 滑慧敏, 李兴珊. (2017). 阅读中的眼跳目标选择问题. *心理科学进展*, *25*(3), 404–412.]

Liu, Y. P., Reichle, E. D., & Li, X. S. (2015). Parafoveal processing affects outgoing saccade length during the reading of Chinese. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *41*, 1229–1236.

Liversedge, S. P., Drieghe, D., Li, X., Yan, G. L., Bai, X. J., & Hyönä, J. (2016). Universality in eye movements and reading: A trilingual investigation. *Cognition*, *147*, 1–20.

Marx, C., Hawelka, S., Schuster, S., & Hutzler, F. (2017). Foveal processing difficulty does not affect parafoveal preprocessing in young readers. *Scientific Reports*, *7*, 41602.

Morey, R. D., Rouder, J. N., Jamil, T., Urbanek, S., Forner, K., & Ly, A. (2018). *BayesFactor: Computation of Bayes factors for common designs*. Retrieved from http://CRAN.R-project.org/packageBayesFactor

R Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R foundation for statistical computing. Retrieved from http://www.Rproject.org/

Rayner, K. (1975). The perceptual span and peripheral cues during reading. *Cognitive Psychology*, *7*, 65–81.

Rayner, K. (1986). Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, *41*(2), 211–236.

Rayner, K. (2009). The Thirty-fifth Sir Frederick Bartlett Lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62*, 1457–1506.

Rayner, K., Schotter, E. R., Masson, M. E., Potter, M. C., & Treiman, R. (2016). So much to read, so little time: How do we read, and can speed reading help?. *Psychological Science in the Public Interest*, *17*(1), 4–34.

Rayner, K., Slattery, T. J., & Bélanger, N. N. (2010). Eye movements, the perceptual span, and reading speed. *Psychonomic Bulletin & Review*, *17*(6), 834–839.

Rayner, K., Yang, J. M., Schuett, S., & Slattery, T. J. (2013). Eye movements of older and younger readers when reading unspaced text. *Experimental Psychology*, *60*, 354–361.

Reichle, E. D. (2011). Serial-attention models of reading. In S. P. Liversedge, I. D. Gilchrist, & S. Everling (Eds.), Oxford library of psychology. *The Oxford handbook of eye movements* (pp. 767–786). New York, NY, US: Oxford University Press.

Reichle, E. D., & Drieghe, D. (2013). Using E-Z Reader to examine word skipping during reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *39*, 1311–1320.

Reichle, E. D., Pollatsek, A., Fisher, D. L., & Rayner, K. (1998). Toward a model of eye movement control in reading. *Psychological Review*, *105*, 125–157.

Risse, S. (2014). Effects of visual span on reading speed and parafoveal processing in eye movements during sentence reading. *Journal of Vision*, *14*(8), 1–13.

Schotter, E. R., Angele, B., & Rayner, K. (2012). Parafoveal processing in reading. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *74*(1), 5–35.

Taylor, J. N., & Perfetti, C. A. (2016). Eye movements reveal readers' lexical quality and reading experience. *Reading and Writing*, *29*(6), 1069–1103.

Vasilev, M. R., Slattery, T. J., Kirkby, J. A., & Angele, B. (2018). What are the costs of degraded parafoveal previews during silent reading?. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *44*, 371–386.

Veldre, A., & Andrews, S. (2014). Lexical quality and eye movements: Individual differences in the perceptual span of skilled adult readers. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *67*(4), 703–727.

Veldre, A., & Andrews, S. (2015a). Parafoveal lexical activation depends on skilled reading proficiency. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *41*(2), 586–595.

Veldre, A., & Andrews, S. (2015b). Parafoveal preview benefit is modulated by the precision of skilled readers' lexical representations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *41*(1), 219–232.

Veldre, A., & Andrews, S. (2018). How does foveal processing difficulty affect parafoveal processing during reading? *Journal of Memory and Language*, *103*, 74–90.

Wang, A. P., Zhou, W., Shu, H., & Yan, M. (2014). Reading proficiency modulates parafoveal processing efficiency: Evidence from

reading Chinese as a second language. *Acta Psychologica*, *152*, 29–33.

Wang, Y. S., Zhao, B. J., Chen, M. J., Li, X., Yan, G. L., & Bai, X. J. (2018). Influence of the frequency of fixated words and the number of strokes of parafoveal words on saccadic target selection in Chinese reading. *Acta Psychologica Sinica*, *50*(12), 1336–1345.

[王永胜，赵冰洁，陈茗静，李馨，闫国利，白学军. (2018). 中央凹加工负荷与副中央凹信息在汉语阅读眼跳目标选择中的作用. *心理学报*, *50*(12), 1336–1345.]

White, S. J., Rayner, K., & Liversedge, S. P. (2005). Eye movements and the modulation of parafoveal processing by foveal processing difficulty: A reexamination. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*, 891–896.

Yan, G. L., Li, S. N., Wang, Y. L., Liu, M., & Wang, L. H. (2018). The perceptual span of Chinese second graders. *Journal of Psychological Science*, *41*(4), 849–855.

[闫国利，李赛男，王亚丽，刘敏，王丽红. (2018). 小学二年级学生汉语阅读知觉广度的眼动研究. *心理科学*, *41*(4), 849–855.]

Yan, G. L., Wang, L. H., Wu, J. G., & Bai, X. J. (2011). The perceptual span and parafoveal preview effect of fifth graders and college students: An eye movement study. *Acta Psychologica Sinica*, *43*(3), 249–263.

[闫国利，王丽红，巫金根，白学军. (2011). 不同年级学生阅读知觉广度及预视效益的眼动研究. *心理学报*, *43*(3), 249–263.]

Yan, G. L., Xiong, J. P., & Bai, X. J. (2008). Eye movement studies on the perceptual span of Chinese reading by fifth graders. *Psychological Development and Education*, *24*(1), 72–77.

[闫国利，熊建萍，白学军. (2008). 小学五年级学生汉语阅读知觉广度的眼动研究. *心理发展与教育*, *24*(1), 72–77.]

Yan, G. L., Xiong, J. P., Zang, C. L., Yu, L. L., Cui, L., & Bai, X. J. (2013). Review of eye-movement measures in reading research. *Advances in Psychological Science*, *21*(4), 589–605.

[闫国利，熊建萍，臧传丽，余莉莉，崔磊，白学军. (2013). 阅读研究中的主要眼动指标评述. *心理科学进展*, *21*(4), 589–605.]

Yan, M. (2015). Visually complex foveal words increase the amount of parafoveal information acquired. *Vision research*, *111*, 91–96.

Zang, C. L., Fu, Y., Bai, X. J., Yan, G. L., & Liversedge, S. P. (2018). Investigating word length effects in Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *44*(12), 1831–1841.

Zang, C. L., Zhang, M. M., Bai, X. J., Yan, G. L., Paterson, K. B., & Liversedge, S. P. (2016). Effects of word frequency and visual complexity on eye movements of young and older Chinese readers. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *69*(7), 1409–1425.

Zhang, M. M., Liversedge, S. P., Bai, X. J., Yan, G. L., & Zang, C. L. (2019). The influence of foveal lexical processing load on parafoveal preview and saccadic targeting during Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *45*(6), 812–825.

The Influence of Foveal Processing Load on Parafoveal Preview of Fast and Slow Readers during Chinese Reading

ZHANG Manman; ZANG Chuanli; XU Yufeng; BAI Xuejun; YAN Guoli

(*Key Research Base of Humanities and Social Sciences of the Ministry of Education, Academy of Psychology and Behavior*, *Tianjin Normal University*, *Tianjin* 300387, *China*)

(*Faculty of Psychology*, *Tianjin Normal University*, *Tianjin* 300387, *China*)

(*Tianjin Social Science Laboratory of Students' Mental Development and Learning*, *Tianjin* 300387, *China*)

Abstract

Parafoveal pre-processing contributes to highly efficient reading for skilled readers (Ashby et al., 2012; Rayner, 2009). Research has demonstrated that high-skilled or fast readers extract more parafoveal information from a wider parafoveal region more efficiently compared to less-skilled or slow readers (e.g., Ashby et al., 2012; Chace et al., 2005; Rayner et al., 2010; Veldre & Andrews, 2015a). It is argued that individual differences in parafoveal preview are due to high-skilled or fast readers focusing less of their attention on foveal word processing than less-skilled or slow readers (Rayner, 1986; Veldre & Andrews, 2014). In other words, foveal processing difficulty might modulate an individual's amount of parafoveal preview (Foveal Load Hypothesis, Henderson & Ferreira, 1990). However, few studies have provided evidence in support of this claim. Therefore, the present study aimed to explore whether and how foveal lexical processing load modulates parafoveal preview of readers with different reading speeds (a commonly used measurement of reading skill or reading proficiency).

By using a three-minute reading comprehension task, 28 groups of fast and slow readers were selected from 300 participants (234 were valid) according to their reading speed in the current study. Participants were then asked to read sentences while their eye movements were recorded using an Eyelink 1000 eyetracker. Each experimental sentence contained a pre-target word that varied in lexical frequency to manipulate foveal processing load (low load: high frequency; high load: low frequency), and a target word manipulated for preview (identical or pseudo-character) within the boundary paradigm (Rayner 1975).

Global analyses showed that, although fast readers had similar accuracy of reading comprehension to slow readers, they had shorter reading times, longer forward saccades, made less fixations and regressions, and had higher reading speeds compared to slow readers, indicating that our selection of fast and slow readers was highly effective. The pre-target word analyses showed that there was a main effect of word frequency on first-pass reading times, indicating an effective manipulation of foveal load. Additionally, there was an interactive effect between reading group and word frequency for first fixation and single fixation durations, showing that fast readers fixated high frequency pre-target words for less time than low frequency pre-target words, while slow readers made similar duration fixations on the high and low frequency pre-target words. However, the target word analyses did not show any three-way or two-way interactions for the first-pass reading times as well as for skipping probability. To be specific, the first-pass reading times were shorter at the target word with identical previews in relation to pseudocharacter

previews (i.e. preview benefit effects); importantly, similar size effects occurred for both fast readers and slow readers.

The findings in the present study suggest that lexical information from the currently fixated word can be extracted and can be used quickly for fast readers, while such information is used later for slow readers. This, however, does not result in more (or less) preview benefit for fast readers in relation to slow readers. In conclusion, foveal lexical processing does not modulate preview benefit for fast and slow readers, and the present results provide no support for the Foveal Load Hypothesis. Our findings of foveal load effects on parafoveal preview for fast and slow readers cannot be readily explained by current computational models (e.g., E-Z Reader model and SWIFT model).

Key words fast readers; slow readers; parafoveal preview; foveal processing load; Chinese reading.

附 录

三分钟快速与慢速阅读筛选测试使用实验材料（带*标记的句子表示其意为错误）

序号	句子
1	每一个礼拜都有七天
2	平年一年有 365 天
3	我国的首都位于北京
4	西游记的作者是吴承恩
5	航空飞机可以在天上飞行
6	雄鹰在天空中翱翔
7	狮子在草地上奔跑
8	每年 10 月 1 日是国庆节
9	我国实行九年义务教育
10	小猴子长有一条灵活的尾巴
11	人们可以用毛笔来书写文字
12	地球围绕着太阳转
13	中国位于地球的北半球
14	中国是社会主义国家
15	一年有二十四个节气
16	夏天的气温很高所以很热
17	下雨天人们会撑着伞出门
18	猴子的屁股是红颜色的
19	我们居住的地球是球体
20	蜜蜂喜欢在花丛中采蜜
21	人们之间可以用电话联系
22	飞机可以在天上飞行
23	人们的生活离不开水
24	月球绕着地球旋转
25	地球本身就在自转
26	使用显微镜可以看到细胞
27	正常人用双腿走路
28	人们可以骑着骆驼过沙漠
29	白云漂浮在高高地天空中
30	大海里的海水味道是咸的
31	秋天的枫叶有的颜色是红色的
32	松树的松针常年为绿色的
33	冰块融化后变成了水
34	地球被空气包围着
35	黄河是中国的母亲河
36	珠穆朗玛峰是世界最高峰
37	人们使用梳子梳头发
38	潜水艇可以在水底潜行
39	彩虹的颜色有七种
40	长江里的水流向大海

41	照相机可以用来拍照片
42	人们用眼睛来看事物
43	垃圾桶用来装废弃的东西
44	接通电源之后电灯会发亮
45	中国的国旗是红色的
46	水稻经过加工变成大米
47	灭火器可以用来扑灭明火
48	太阳可以发光发热
49	我国有五十六个民族
50	普通玻璃是易碎物品
51	酒精是易燃物品
52	春天是万物生长的季节
53	人类是高级哺乳动物
54	淡水可以凝固成冰块
55	农历正月初一是春节
56	英文字母一共有二十六个
57	树木可以用来做木材
58	在公路上驾驶汽车需要驾驶证
59	一个小时有六十分钟
60	钢琴是一种可以弹奏的乐器
61	飞机可以载人在天上飞行
62	小老虎长有四条腿
63	胡萝卜长在土地下面
64	山羊是吃草的动物
65	杯子是可以用来装液体的容器
66	香蕉和葡萄都是水果
67	中国的国旗叫五星红旗
68	雷锋是我们学习的榜样
69	闯红灯是违反交通规则的行为
70	孙悟空又叫齐天大圣
71	蝌蚪长大会变成青蛙
72	苍蝇是传播疾病的害虫
73	六月一日是儿童节
74	孙悟空是西游记中的角色
75	猴子喜欢吃香蕉
76*	体重仪可以测量人的高度
77*	汽车在水面上飞快地行驶
78*	鲨鱼可以生活在陆地上
79*	人们在夏天穿着棉袄
80*	刚出生的婴儿会跑步
81*	夜晚的月亮自身会发光
82*	青蛙能一口吞下一只鹰
83*	普通人的身高在 5 米左右

84*	汽车可以在天上飞行
85*	乌龟跑的比豹子更快
86*	人一秒钟可以跑一百米
87*	人的寿命可以长达一千年
88*	红领巾的颜色是蓝色的
89*	马儿在天空中奔跑
90*	人们用肉眼可以看到细菌
91*	小狗身上长有一对翅膀
92*	汽车轮子的形状是正方形
93*	夏天的天空中飘着雪花
94*	长颈鹿的脖子比河马的短
95*	普通石头可以漂浮在水面上
96*	鲸鱼能在天空中飞翔
97*	鸡蛋比石头更加坚硬
98*	月亮的形状是正方形
99*	普通人长有三只眼睛
100*	汽油是可以喝的东西
101*	太阳能是一种植物
102*	蝴蝶的重量比大象更重
103*	移动电源用来测量体温
104*	卫生纸是用钢筋水泥制作而成
105*	胡萝卜是一种肉类食品
106*	鼠标是用老鼠制作而来的
107*	手表是用来测量重量的工具
108*	化妆品小盒可以用来装大房子
109*	白色粉笔可以写出黑色的字
110*	火车飞快地行驶在海面上
111*	电脑是一种非常可口的食物
112*	食用盐的味道是甜的
113*	牧场里的公鸡会下鸡蛋
114*	正常人的血液是黑色的
115*	小猫咪长了三只眼睛
116*	小鸭子能在天上飞
117*	蚂蚁的身体比恐龙更大
118*	人们在生病后会找厨师看病
119*	一天有二十五个小时
120*	早晨的太阳从西边出来
121*	用卷尺能测量人的体重
122*	人可以离开空气而生存
123*	书本是用钢铁做的
124*	轮船可以在陆地上行驶
125*	小鸟可以在海底潜水
126*	每一分钟都有一百秒

127*	大象的鼻子特别短
128*	牛奶是从母猪身上挤出来的
129*	苹果从树根上长出来
130*	每一年都有三个季节
131*	人们用肉眼可以看到冥王星
132*	磁铁可以吸住木材
133*	天上悬挂着九个太阳
134*	人们是从石头缝里蹦出来的
135*	冬天下雪是因为温度高
136*	我们居住的高楼是用泡沫建成的
137*	我们用手就可以抓住天上的太阳
138*	羊毛产自长颈鹿的身上
139*	温度计可以测量人们的血压
140*	太阳在晚上升起来
141*	小草在冬天长出新芽
142*	母鸡每天早晨都会打鸣
143*	人们需要去银行买生活用品
144*	太阳是个蓝色的球体
145*	交通信号灯有四种颜色
146*	篮球比乒乓球小
147*	医生的工作服是黑色的
148*	小兔子最喜欢吃肉
149*	树叶在春天会变黄
150*	面包是用石头制做的